

MW 級風力機技術發展 Technology Development of the MW-Class Wind Turbine

劉瑞弘¹ 張永源² 羅展興³

¹ 工業技術研究院機械所/工程師

² 工業技術研究機械所/經理

³ 工業技術研究機械所/組長

摘要

本文針對風力機系統特性，點出此領域所需關注的技術議題，特別是針對亞太地區的氣候環境。然後以此為依據，勾勒出工研院機械所技術發展規劃的三個階段，分別是關鍵元件開發、協助產業建構以及創新技術的研發。文中也介紹工研院機械所在風能的研究發展現況，從技術面與產業面的角度，將未來的規劃做一整體的介紹。

關鍵字：工研院、風能、風力發電

Abstract

This article focuses on the R&D status of the wind energy in Industrial Technology Research Institute (ITRI). From the technology and industrial points of view, an overview of the technology development and planning is introduced. First of all, the characteristic of the wind turbine is investigated to point out the key issues in the wind energy, especially for the Asian climate conditions. Then base on this, three main steps of developing strategy in ITRI/MSL lab are organized, which are the key components development, the local wind industry construction, and the innovative technology development.

Keywords: ITRI, Wind energy, Wind power

壹、前言

近年來，風能在全世界蓬勃發展，可說是再生能源中非常亮眼的一塊，每年的風力機組新增裝置容量成長率平均超過 30%。截至 2008 年底，全球累積裝置容量已經超過 120GW[1]，預計未來幾年在美國與中國大陸龐大市場的驅動下，將會有更驚人的成長，美洲與亞洲將超越過去長期位居龍頭的歐洲[1]。目前全球風力機系統的市場中，陸域的大型風力機以主要以 1.5MW~2MW 為主流，離岸式風力機則以 3MW 為主，而且越來越多 5MW 的機種出現，整個趨勢朝向離岸與大型化發展。所以國內在規劃大型風力機的產業發展策略時，也以 MW 級以上為目標進行規劃，以期能準確切入市場需求，並帶動國內相關產業。

工研院機械所過去幾年在能源局督導下執行台灣風力發電技術研發與產業發展規劃，藉由本文概要說明計畫內容，包含了技術研發、產業推動、以及創新技術研發方向。以期提升本土技術的競爭力，協助產業在全球市場中佔有一席之地。

貳、風力機系統特性

風力發電機的目的就是將大自然中不穩定的風能，轉換成為穩定能量輸出，也就是我們用的電。只不過，也是因為環境中的風受到各種因素影響，導致風不可能維持固定的風速或是風向，自然成為非常不穩定的輸入。對於一個發電廠來說，這是非常不希望看到的狀況。不像傳統的火力發電，要發多少電是可以控制的。再加上風力發電機運轉時，葉輪持續的旋轉，對整個結構產生了各式各樣複雜的負載效應。例如 1)由氣流所產生之靜態與動態負載、2)由結構振動、旋轉、重力、地震等慣性力所產生之負載、3)因為轉速控制、葉片角度控制、煞車、發電機脫網、啟動停機等系統操作所產生之負載、以及其他像是 4)尾流、衝擊、結冰等環境所產生之負載。由於這些負載的多樣性，使得風力機系統在其運轉生命中，除了運轉數量最多之外，承受的負載不規則性也最高。從圖 1 可知，比較傳統的自行車、飛機、與吊橋等承受週期性負載的系統，風力機的負載最為複雜，因此風力機整體以及各元件的分析、設計、製造、與控制，都必須仔細進行。

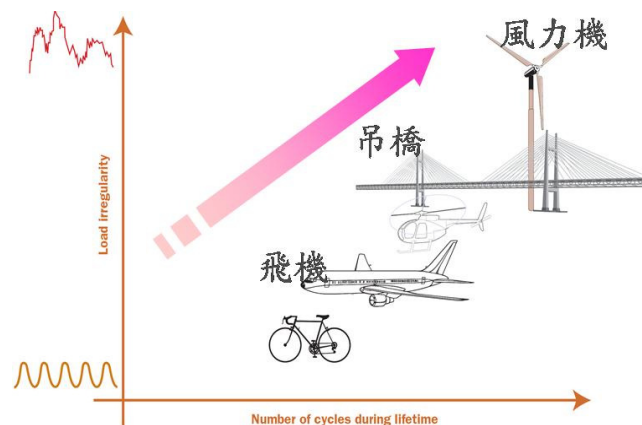


圖 1、風力機與其他旋轉系統承受負載之比較[2]

除了上述一般設計者都必須面臨的基本挑戰之外，風力機還必須因地制宜，針對設置區域的地理環境、氣候特性等條件進行調整設計，才能讓風力機系統更可靠的運轉。亞洲的國家如日本就因為颱風與雷擊的問題，面臨以往歐洲國家所沒有的風險。在北歐(德國、瑞典與丹麥)，每年因為雷擊而受損害的比例為 4~8%，南歐為 14%。但在日本，這個比例高達 36%[3]，因此日本不得不特別針對雷擊保護進行研究。而台灣地形複雜，同樣是多地震與颱風，須依據台灣環境設計修正技術，方可避免歐洲機組來台發生水土不服之情況。圖 2 即為火燒機的事故。目前台電所裝設的許多國外系統也常常發生故障，為何到台灣就會出現問題，這是國內進行系統開發時必須謹慎考量的議題。



圖 2、風力機火燒機事故

另外，從產業發展的角度來看，風力機系統必須經過國際規範認證，如圖 3。獲得證書後，確認符合安全運轉需求，才能取得銀行貸款與保險及承接業務機會。畢竟，動輒數十公尺、總高度超過一百公尺的系統，沒有經過安全認證就運轉，一方面造成投資的損失，一方面也對於附近居民帶來危險。而且由於風力機型式種類非常多，各家廠商以及各個地區都可能不同規格，因此其中的零組件並非標準品。主要的系統廠便主導大部份關鍵元件的開發與發展趨勢。零組件廠商如果沒有透過系統廠，成為該廠商的供應商，很難取得業務機會。

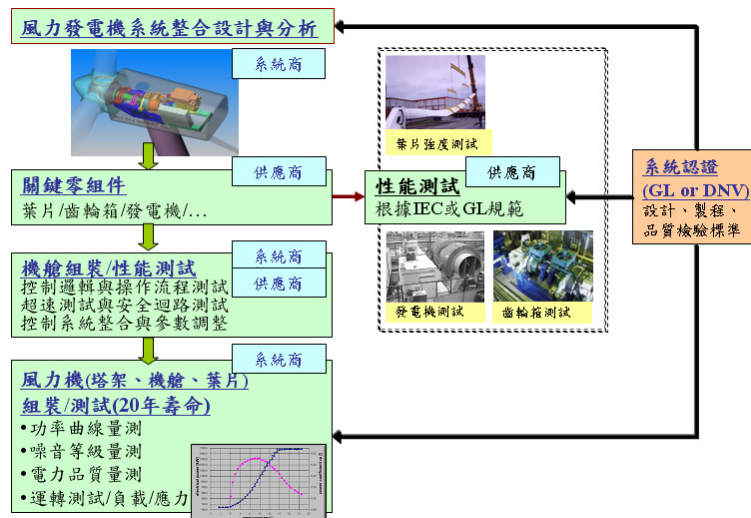


圖 3、風力機系統廠與零組件廠協同認證流程

根據風力機技術與產業的特性，工研院機械所規劃三個階段性的目標，進行技術開發與產業推動。第一階段發展風力機的基礎技術：建立關鍵元件的設計分析與製造技術，透過技術引進，奠立產業基礎。然後在第二階段發展系統技術：建立整機的系統整合技術，協助業者完成國產風力機系統開發，以推動國內的風力機產業。第三階段，發展差異化技術：研發創新技術，建立產業競爭力。後續章節將針對此三階段進行介紹。

參、關鍵元件開發

從 2006 年開始，工研院機械所在經濟部能源局的督導下執行能源計畫，進行大型

MW 級風力機技術設備的開發。從 2006~2009 年，進行 MW 級風力機之關鍵元件技術開發。考慮當時主流的變速型系統，選定了 2MW 的變速風力機為對象，採用雙饋式感應發電機(DFIG)搭配增速齒輪箱的架構；最後鎖定了葉片、增速齒輪箱、電力轉換器以及控制系統這四個技術性較高的元件作為第一階段的技術發展目標(圖 4)。

在葉片的研究上，機械所與具備葉片設計專業的”聯合船舶設計中心“進行長達 40 公尺的 MW 級葉片設計。透過翼型組合設計、葉根與葉尖幾何的選擇，提升葉片效率(C_p) 達 48%並降低噪音。並與國內遊艇業第一大廠--嘉鴻遊艇子公司”先進複材”公司配合，以高效率真空輔助樹脂轉注成型法製造葉片，預定於今年將完成雛型葉片製作，並進行測試與認證。

增速齒輪箱的功能主要是將葉輪轉速提升至發電機可以發電的轉速。不過齒輪箱在風力機系統故障問題中，是屬於最嚴重的一個，因為其所需要的修復/更換時間最長，造成停機時間最久，損失最嚴重，故其可靠度尤其重要。因此本研究的重點在於使風力機齒輪箱可靠度提高，並且使風力機齒輪箱振動噪音降低。本項目配合”台朔重工”進行齒輪箱之製造，並將建置「機械式 Back-to-Back 傳動系統測試台」，進行傳動系統的負載測試。

電力轉換器負責將發電機輸出的電能，轉換為與電網頻率相符的電力。研究重點在於降低電力轉換模組之諧波失真與提高電力轉換模組之可靠度。本研究有東元電機公司參與技術研發，將透過「100KW M-G set 動力載台」，結合變頻控制器、DFIG 與 GH Bladed 風力機模擬軟體，進行電力轉換器背對背電流回路控制策略與直接轉矩控制模式之驗證分析，達成風力機變速與雙向功率控制目標。

至於在控制系統的技術開發，則考慮整機監控與功率控制技術，研究目標在於提升風力機系統補風能力來提升發電效率，並以智慧維護診斷來提高系統可用率。本項目也與東元電機進行合作，並透過英國 Garrad-Hassan 專業顧問公司之技術引進，建置了「風力機系統硬體在環測試平台」，可提供開發設計階段時的驗證需求，不需實機即可進行硬體性能測試。

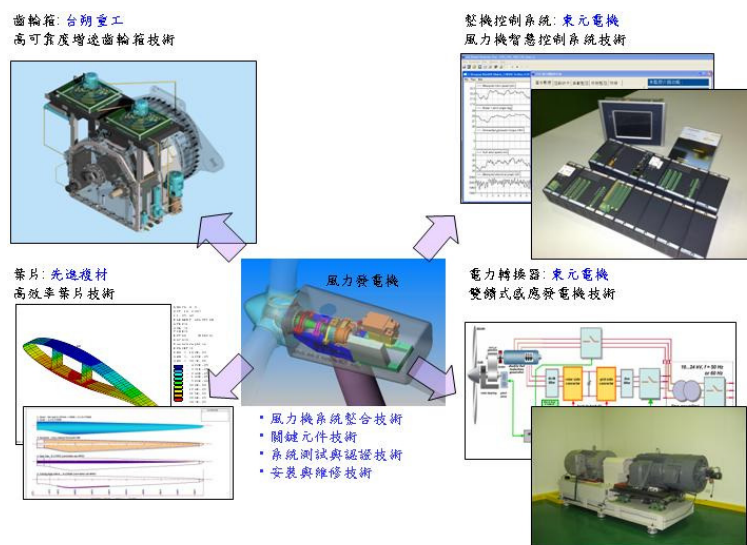


圖 4、工研院風力機關鍵元件技術建立

肆、協助產業建構

在關鍵元件技術建立的同時，工研院也積極協助並推動風力機產業的建立。除了透過先期參與的方式，邀請廠商參與技術開發，讓有興趣投入風力機產業的業者能夠快速獲得關鍵技術外；也協助進行資源整合，結合產業界、學術界、研究單位的能量，加上國外技術引進，推動成立「台灣風電系統研發聯盟」，以東元電機為主導廠商，加上台朔重工、中鋼機械與先進複材等公司，進行各項關鍵元件的研發。目標在 2010 年，能夠成立國內主系統廠，完成國產 2MW 自主品牌風力機系統整合技術開發，並通過國際認證，作為台灣切入國際市場的第一步。

工研院機械所在這個階段所扮演的角色，是配合主系統廠進行合作研究。從圖 5 中可知，包含了建立系統設計規劃與模擬分析技術、機械零組件開發驗證技術、電控制系統整合與控制技術、與系統測試技術。以工研院機械所這幾年在關鍵元件的研究成果以及過去於大型機具中所累積的製造組裝等經驗，提供廠商在整機系統開發過程中，必要的技術協助，並藉以協助廠商建立從設計、分析、製作、組裝、測試、驗證與維護等整機技術。

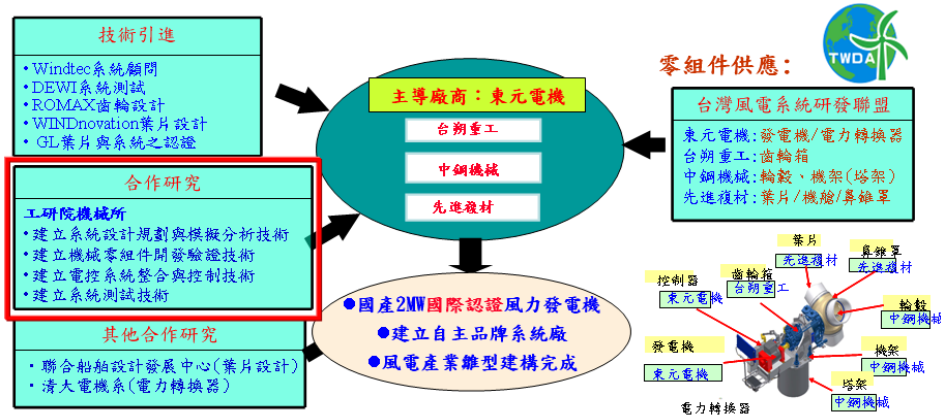


圖 5、台灣風力機產業建構之資源整合架構

伍、創新技術研發

全球風力機市場目前由前五大製造商掌握了超過 80% 的佔有率，前十大更是佔了超過 95% 的比例。因此，要切入目前競爭激烈的風能市場，不是單純把系統做出來就能做到。如果沒有超越目前領先者的技術，如果沒有建立差異化，是很難讓市場接受一個普通又沒有經過考驗的新系統。工研院在第三階段的規劃方向，就是要讓未來建立的本土風力機可以走出台灣，將具突破性的技術找出來，配合我方原有的技術優勢進行研發，為往後的競爭力定下基礎。

表一整理了歐美研究機構[4,5]以及工研院機械所近年來的研究，所提出的技術發展方向。將未來風力系統中必須解決的關鍵議題分為幾個大類，以及相對應的可能解決方案。工研院並結合這幾年所建立的幾個關鍵元件技術，提出解決策略，以達到效率提升或成本下降的目的。其中，適應性負載調控技術可大幅提升補風能力，並且降低運轉時的疲勞負載，不僅提升效率也可提升系統的可靠度，延長元件的使用壽命。傳動系統輕量化功率分流技術，使用多傳動路徑的方式，將傳動功率以最佳的方案分配給多個傳動

元件，使各個傳動元件能承受均勻負載，同時減輕整體重量。因應未來離岸系統越來越大的趨勢，塔頂質量勢必越來越重，除了需要更強的結構基礎外，運送施工吊掛的成本也提高。因此輕量化勢必主導未來離岸的發展，針對高溫超導線材及製程、複合材料葉片、以及複合式風力發電系統，都應投入研究。另外一個重要的議題就是系統可用率的提高，透過智慧診斷維護系統的研究，可有效主動預測，防止重大故障發生。

表一、風力機關鍵技術研發方向[4,5]

關鍵議題	可能方案	研究方向	預期效益		
			效率 %	可用率 %	成本 %
降低機械應力及振動負載	<ul style="list-style-type: none"> 主/被動阻尼系統及挽性聯軸器 變速系統配合進行振動控制 傳動鏈架構改善/進階齒型輪廓 進階葉片控制/Smart Yaw轉向系統 	<ul style="list-style-type: none"> 適應性負載調控技術 傳動系統輕量化功率分流技術 	+5 +0	+1 +2	+0 -2
改善供電波動	<ul style="list-style-type: none"> 儲能系統(電池/飛輪/製氫/融鹽/超導) FACTS設備 & 跨國大電網併聯 風力預測+供電調度+風場 	<ul style="list-style-type: none"> 風力模型建立/預測控制 	+0	+1	-1
降低塔頂質量	<ul style="list-style-type: none"> 輕量化葉片/雙葉片系統 採用中壓水磁發電機(2.5~4.5MW) 採用超導同步發電機(≥5MW) 減少齒輪箱階數/直驅式(配合發電機) 	<ul style="list-style-type: none"> 高溫超導線材及製程研發 採用複合材料之葉片設計 開發中壓電力轉換器模組 複合式風力發電系統 	+2 +2 +0 +5	+0 +0 +1 +0	+1 +2 +0 +3
環境&安全因素 (雷擊/高溫/鹽害/ 噪音/視覺/生態)	<ul style="list-style-type: none"> 防雷擊設計、冷卻與消防設計 下風型風力機 低噪音葉片&控制技術 破鐵葉片回收/特殊地區之設備運輸 	<ul style="list-style-type: none"> 低噪音葉片翼形設計 	+0	+0	+2
減少能量損失/ 增加可用率	<ul style="list-style-type: none"> 高效率葉片/減少葉片解垢損失 感測器強化/強健控制&維護系統 中壓設備/新電力電子元件材料 	<ul style="list-style-type: none"> 智慧診斷維護系統 	+2	+2	-2
製造/學習曲線	<ul style="list-style-type: none"> 持續的設計與製程改善 大型元件製造設備發展 減低設計負載/延長壽命 	<ul style="list-style-type: none"> 大型工具機設備研發 	+0	+0	-10
總計			+16	+7	-9

陸、結論

全球暖化議題為再生能源帶來發展的契機，各國無不積極投入；除了永續能源為地球降溫之外，也造就了另一波的綠色經濟。風能資源取之不竭，又是目前成本最具競爭力的再生能源，工研院作為台灣產業發展的推手，未來將繼續根據三階段的規劃方向，配合政府政策，協助台灣產業在這個時間點取得進入市場的門票。而除了大型系統之外，小型風力機的市場也在近兩年蓬勃發展。由於進入門檻低，國內廠商早已經有產品上市，有更多廠商也表達了開發產品的意願。因此工研院也成立團隊進行小型風力機產業的推動，除協助廠商開發產品之外，也進行技術研發，以提升目前偏低的效率以及可用率；並建立相關測試平台，提供廠商在開發階段的性能驗證環境。

柒、參考文獻

1. Global Wind Energy Council (GWEC), "Global Wind 2008 Report", March, 2009.
2. European Wind Energy Association (EWEA), "Prioritising Wind Energy Research", July, 2005, p28.
3. Bruce Glushakow, "Effective Lightning Protection For Wind Turbine Generators", IEEE Transactions on energy Conversion, Vol. 22, No. 1, March 2007, pp214-222.
4. U.S. Department of Energy, "20% Wind Energy by 2030", July, 2008, p41.
5. J. Lemming, P.E. Morthorst, N.E. Clausen, and P.H. Jensen, "Contribution to the Chapter on Wind Power in: Energy Technology Perspectives 2008, IEA", Jan, 2009.